

# CAMINO PARA FORMAR COMPETENCIAS: TSUNAMI Y MATEMÁTICAS

**TOMÁS ORTEGA**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Este artículo es un claro ejemplo de cómo incluir la vida en el currículo. Con motivo del Tsunami del Pacífico, el autor inculca a sus alumnos el trabajo en competencias matemáticas.

Las actividades están destinadas para alumnos de segundo de Bachillerato.

**DIDÁCTICA Y MATEMÁTICAS**

## INTRODUCCIÓN

Las noticias que relatan un episodio de especial interés, como por ejemplo los descubrimientos científicos revolucionarios, los éxitos deportivos internacionales -o locales-, las catástrofes mundiales, los conflictos internacionales, las construcciones espectaculares, etcétera, llaman poderosamente la atención de la sociedad y, por ende, de los alumnos; se reflejan en la prensa diaria, constituyen documentos de especial interés. Por tanto, cuando estas noticias sean ricas en contenido matemático, se puedan relacionar con dicho contenido o puedan servir de base para la propuesta de tareas matemáticas cuya solución resuelva un problema real, es indudable que actúan de elementos motivadores para el estudio de las matemáticas y que se abre un camino de formación en competencia matemática.

Aquí se van a considerar una noticia de prensa que está relacionada con matemáticas no triviales: el maremoto, conocido como "tsunami", que a finales de 2004 ocasionó una de las mayores catástrofes de la historia en las costas del Océano Índico. Como el objetivo fundamental es el aprendizaje de las matemáticas, aquí se plantean tareas relacionadas con esta noticia, aunque ya han pasado más de dos años, no deja de tener actualidad, porque una y otra vez se repite el fenómeno. Estas tareas son motivadoras y para ser resueltas, unas veces, requieren aplicar conocimientos adquiridos, otras, aprender otros contenidos nuevos y, siempre, establecer conexiones matemáticas. La integración del ordenador es un elemento motivador más y la pretensión de este artículo es mostrar un camino de propuesta de tareas que permitan formar al alumno en competencias.



## EL TSUNAMI DEL ÍNDICO

El maremoto que asoló las costas del Océano Índico, tristemente conocido por las desgracias que ocasionó, puede ser una fuente inagotable para proponer tareas en Educación Matemática. Aquí se van a redactar unas cuantas que están basadas en los textos y gráficos que se reproducen, que están escaneados del periódico "El mundo" de los días 27 y 29 de diciembre de 2004.

No es difícil determinar la ecuación cartesiana de la esfera de radio  $R$  y centrada en el origen,  $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$ , de hecho figura en el currículo de Bachillerato, pero este sistema de coordenadas no siempre es el más adecuado.

A partir de la figura 1, es claro, no tanto para los alumnos, que las ecuaciones de la esfera son:

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\phi), \\ y &= R \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\phi), \\ z &= R \cdot \sin(\theta) \end{aligned}$$

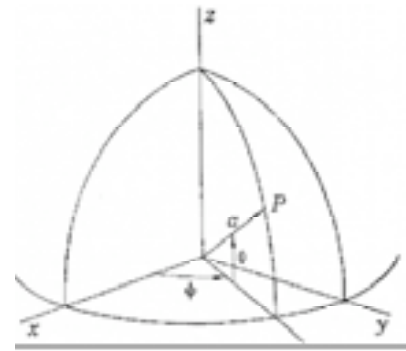


Figura 1.  
Coordenadas polares

### El terremoto más potente de los últimos 40 años

Un terremoto de magnitud 8,9<sup>m</sup> en la escala de Richter, el más potente de los últimos 40 años y el quinto desde 1900, sacudió el norte de la isla de Sumatra provocando una cadena de maremotos que llegaron hasta los países vecinos. El balance provisional supera los 10.000 muertos.

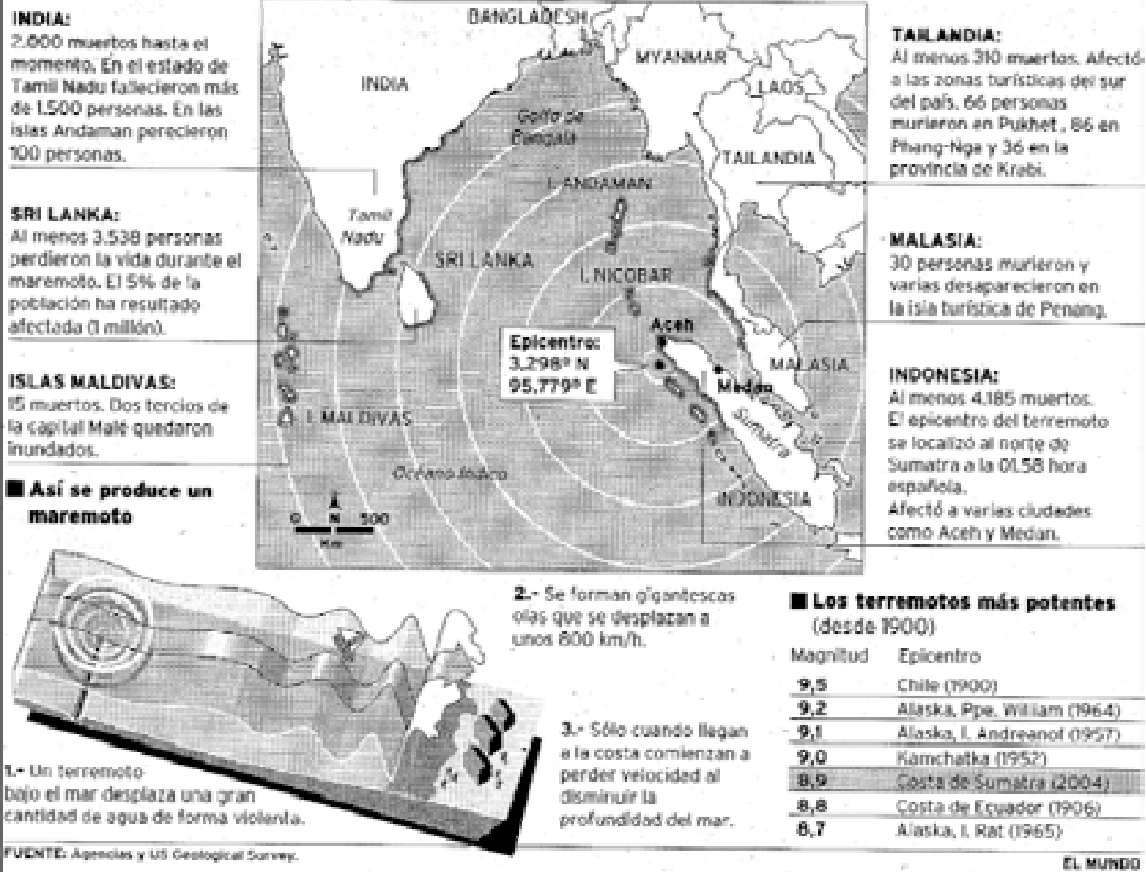


Figura 2. Recorte de "El Mundo, 27-12-2004" ([www.elmundo.es/fotografia2004](http://www.elmundo.es/fotografia2004))

El sistema anterior se utiliza en la Tierra  $y$ , considerando que  $R=12.732 \text{ Km}$ , para fijar un punto o determinar su posición sólo es necesario conocer  $(\theta, \phi)$ . Este par de medidas angulares se llaman coordenadas geográficas,  $\theta$  es *longitud*

y  $\phi$  la *latitud*, y los puntos se determinan por la intersección del paralelo (latitud) y del meridiano (longitud) correspondientes, siendo los orígenes respectivos el ecuador y el meridiano de Greenwich. El arco de meridiano entre el punto y el eua-

dor mide la latitud y el arco de paralelo entre el punto y el meridiano de Greenwich mide la longitud (o el arco de cualquier paralelo entre el meridiano del punto y el meridiano de Greenwich). Ambas mediciones se expresan en grados.

- **TAREA 1.** ¿Por qué se puede considerar que la altura de las montañas no impide considerar que la Tierra sea una esfera perfecta? ¿Sabes cuál es la altura del Everest? ¿Cómo se vería esa montaña en una esfera que representara la Tierra a escala y que tuviera 100 m de diámetro?

- **TAREA 2.** Calcular la distancia entre el epicentro y las islas Maldivas, utilizando el mapa de la figura anterior.

- **TAREA 3.** En la figura anterior los círculos representan el hipotético desplazamiento del "tsunami" de hora en hora. Escribe lo más aproximadamente posible el tiempo que tardó en llegar el tsunami a Sri Lanka, y el tiempo que tardó en llegar a las islas Maldivas.

- **TAREA 4.** Considerando el mapa de la figura 2 (plano) y con centro de referencia en el epicentro, determinar las ecuaciones de las circunferencias que aparecen en dicho plano, tanto en coordenadas cartesianas como en coordenadas polares.

- **TAREA 5.** La latitud puede ser "Norte (N) o Sur (S)" y la longitud "Este (E) u Oeste (W)". Explicar el significado de estas variantes y situar en una esfera terrestre o en un Mapamundi, que conserve los paralelos y meridianos, los puntos que corresponden a (45°E, 32°N) y a (80°W, 25°S).

- **TAREA 6.** Una superviviente declaró a Onda Cero (3-1-05) que viajaba en una embarcación y se salvó porque "el piloto de la embarcación, de unos 50 pasaje-

ros, avistó la 'gran ola' y viró hacia una calita cercana, desembarcamos y echamos a correr hacia una colina". Hacer unos cuantos cálculos para esclarecer cómo de lejos debía estar el solitón y cómo de cerca estaba la colina (En Matemáticas las ondas solitarias se llaman solitones y en adelante nos referiremos indistintamente como tsunami, onda solitónica o solitón).

- **TAREA 7.** El primer párrafo del texto del periódico indica que "Las primeras olas comenzaron a golpear las costas del sureste asiático dos horas después de que los centros sismológicos de medio mundo registraran el quinto mayor terremoto de la Historia". Explica si existe alguna contradicción con algunos de los datos anteriores.

- **TAREA 8.** Comentar el siguiente párrafo "Pequeñas islas dejaron de existir en una cadena de destrucción que se extendió por 3.000 kilómetros de costa y llegó hasta África". El mapa de la figura 4 puede servir para estimar los kilómetros de costa y precisar esta afirmación. Seguro que el posible desajuste tiene una explicación (altura sobre el nivel del mar).

- **TAREA 9.** Consulta un Mapamundi, obtén las coordenadas geográficas del epicentro y de Mogadiscio y determina las coordenadas (x, y, z) de ambos puntos.

- **TAREA 10.** Consulta un Mapamundi y determina las ecuaciones del paralelo y del meridiano que pasan por Bombay.

- **TAREA 11.** Es evidente que la distancia entre dos puntos de la tierra es la longitud del arco de circunferencia de radio máximo que los contiene (geodésica), que tal distancia no va a coincidir con

Figura 3. Extracto del texto que publicó El Mundo (27/12/04)

Las primeras olas comenzaron a golpear las costas del sureste asiático dos horas después de que los centros sismológicos de medio mundo registraran el quinto mayor terremoto de la Historia. Aldeas enteras desaparecieron sin más, complejos hoteleros quedaron flotando a la deriva y pequeñas islas dejaron de existir en una cadena de destrucción que se extendió por 3.000 kilómetros de costa y llegó hasta África, con varias víctimas en Somalia.

Los países afectados empezaron a dar cifras provisionales de víctimas que, sin incluir los miles de desaparecidos, sumaban a última hora de ayer más de 10.000 fallecidos y decenas de miles de heridos, un tercio de ellos niños. El número de afectados, incluidos los desplazados, podría estar en varios millones de personas, según los gobiernos de la región.

El alcance final de la tragedia no será conocido hasta que se sepa la suerte de miles de pescadores que se encontraban faenando en el momento del terremoto y los servicios de rescate lleguen a remotas islas con las que se ha perdido la comunicación, sobre todo en La India y Sri Lanka, los dos países más afectados.

La fuerza del agua resultó devastadora para cientos de pueblos costeros en los que millones de asiáticos viven hacinados en chozas y chabolas. Pero, incluso en ciudades más grandes, edificios enteros fueron tumbados por la corriente como fichas de dominó.

«Jamás habíamos vivido algo parecido», aseguraba el primer ministro tailandés, Thaksin Shinawatra, cuyo país concentra un gran número de víctimas occidentales todavía sin identificar.

Las 3 principales islas turísticas del oeste de Tailandia -Phuket, Krabi y Phi Phi- fueron golpeadas a las 10 de la mañana (hora local).

El maremoto inicial fue seguido por una serie de olas de entre tres y cinco metros de altura. A última hora, la cifra de muertos había alcanzado los 400 en el país asiático y los hospitales de Phuket, uno de los principales destinos vacacionales del continente, se encontraban desbordados ante la llegada de más de 5.000 heridos, muchos de ellos turistas europeos, americanos y australianos.

la que se obtiene midiendo en el mapa. Calcular la distancia entre el epicentro y Mogadiscio utilizando el mapa de la figura 2 y el correspondiente arco de geodésica.

- **TAREA 12.** Hacer lo mismo entre las costas de Bangla Desh y las de Madagascar. Comparar los resultados obtenidos y dar una explicación. Es claro que el tsunami se extingue con el tiempo, ya que de lo contrario llegaría a todas las costas del mundo. Las cuatro tareas que siguen están relacionadas entre sí.

- **TAREA 13.** En otra información, el diario "El Mundo" indicó que la gran ola se desplazó a 750 Km/h, pero no dice si tal velocidad permanece constante, aumenta o disminuye con el paso del tiempo.

Suponiendo que el viento produjo una deceleración de 50 Km/h<sup>2</sup> y que la deceleración es constante en todas las direcciones, calcular la velocidad que llevaba el tsunami al llegar a la 3ª y a la 4ª circunferencia de la figura 2.

- **TAREA 14.** Calcular a qué distancia llegó la ola gigante suponiendo que el viento produjo una deceleración de 50 Km/h<sup>2</sup>.

- **TAREA 15.** Como en las ondas sonoras, la amplitud (altura del tsunami) decrece con el paso del tiempo. Calcular la altura inicial del solitón suponiendo que decrece a razón de 1,2 metros por hora y que desaparece al cabo de 15 horas. Calcular también la altura de la "gran ola" a su llegada a Sry Lanka, a Bangla Desh y a Somalia.

- **TAREA 16.** Las reflexiones realizadas en las tres tareas anteriores permiten dibujar unas circunferencias concéntricas que señalen la posición del tsunami en cada hora, así como su correspondiente amplitud. Hacerlo en el mapa de la figura 2. Seguro que no coinciden con las dibujadas en el propio mapa.

La información que publicó "El Mundo", el 29/12/2004 incluye un gráfico elaborado por el National Oceanic and Atmospheric Administration (USA). En este gráfico se puede apreciar que la velocidad no es uniforme y que, incluso, aumenta con el paso del tiempo en algunas zonas. Esto, en parte, es debido a que, en realidad, la velocidad de los solitones sólo disminuye cuando las aguas son poco profundas y el desplazamiento pasa a

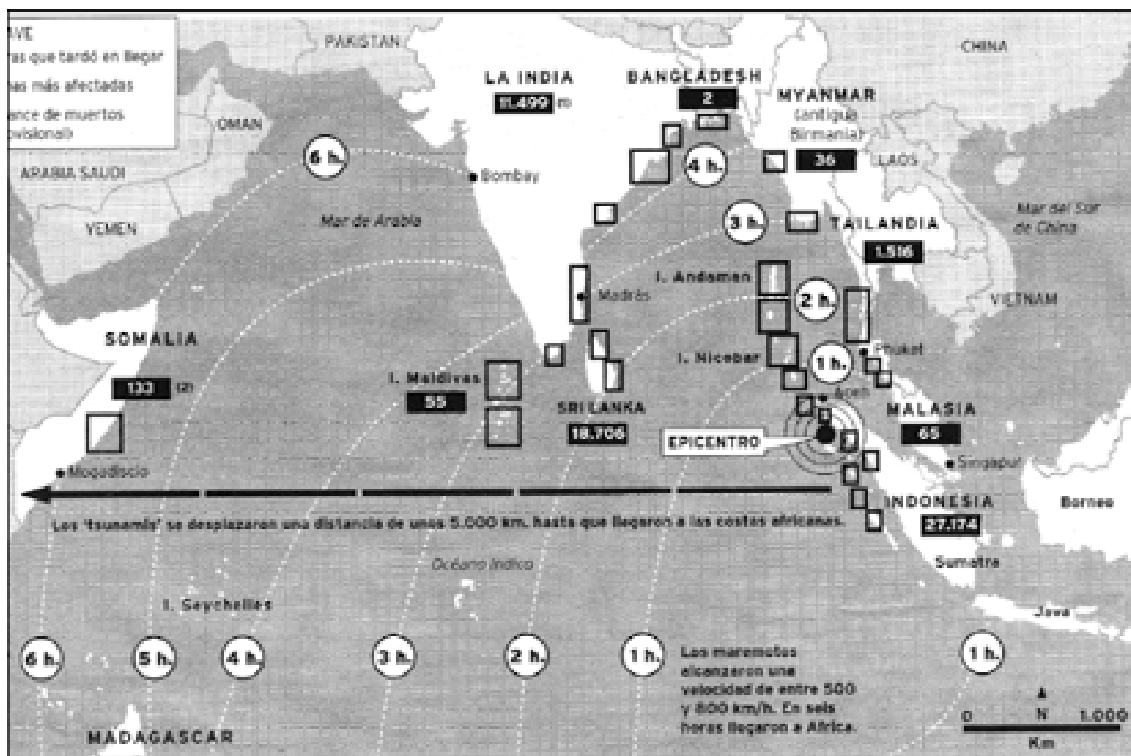
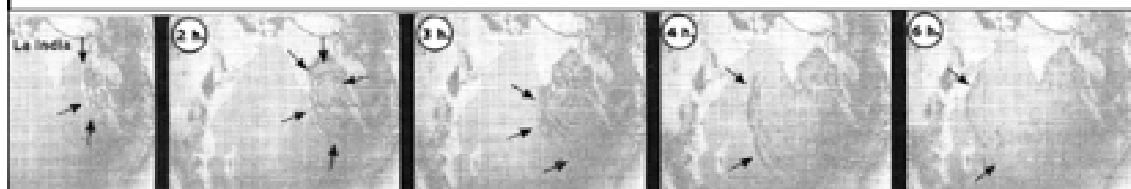


Figura 4. Imágenes de National Oceanic and Atmospheric Administration. Las líneas de avance del tsunami se creó a partir de fotografías. [elmundo.es/fotografia/2004/12/maremotos\\_especial/graficos/index.html](http://elmundo.es/fotografia/2004/12/maremotos_especial/graficos/index.html)



un régimen turbulento en vez de seguir un régimen laminar que es lo que ocurre en aguas profundas, esto es debido a que entra en contacto con el fondo marino. En este caso la velocidad disminuye notablemente. Por otra parte, en aguas profundas la velocidad de propagación puede aumentar al disminuir la amplitud del solitón, como ponen de manifiesto las curvas de sincronización de la figura 4 y la tarea que se propone más abajo.

- **TAREA 17.** Comentar las velocidades de desplazamiento del solitón, utilizando la información de la figura 4.

- **TAREA 18.** Suponiendo que el agua del mar se desplaza tierra adentro en régimen laminar a una velocidad de 80 Km/h, figura 5, averiguar qué altura, H, es capaz de rebasar, sabiendo que se tiene que cumplir la ecuación de equilibrio energético,  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$  siendo  $m$  la masa,  $v$  la velocidad (en m/s),  $g=9,8 \text{ m/s}^2$  la aceleración de la gravedad y  $h$  la altura.

- **TAREA 19.** Explicar qué ocurriría si, en el supuesto de que se conservara el régimen laminar, el agua del mar encontrara una pared vertical (quizás convenga razonar con alturas concretas).

- **TAREA 20.** Utiliza el programa funciones y ensaya con varios tipos de funciones hasta conseguir una cuya gráfica represente el perfil de una ola solitaria, más o menos, como el que muestra la figura 6.

- **TAREA 21.** La función  $U(x,t) = A \operatorname{sech}^2 \left( \sqrt{\frac{A}{6}} \left[ x + \left( \frac{3-2A}{3} \right)^{1/2} t \right] + x_0 \right)$ , solución de una ecuación diferencial en derivadas parciales, representa un solitón de amplitud A y velocidad de propagación

$$v = \sqrt{\frac{3-2A}{3}}$$

Las siguientes instrucciones de MAPLE dan como resultado la figura 7:

```
> with(plots):
> A:=.5;
> plot3d(A*(sech((A/6)^(0.5)*(x+((3-2*A)^(0.5)*t-45))))^2,t=0..30, x=0..60);
```

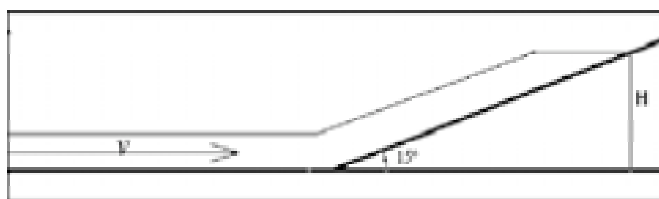


Figura 5. Desplazamiento del agua conservando un régimen laminar

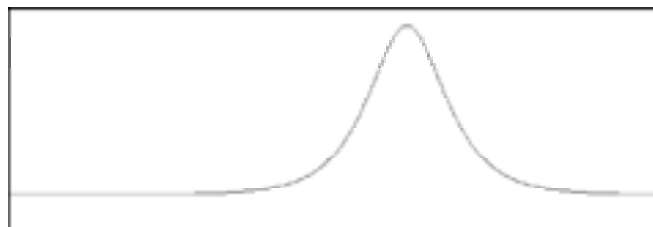


Figura 6. Perfil de una ola solitaria

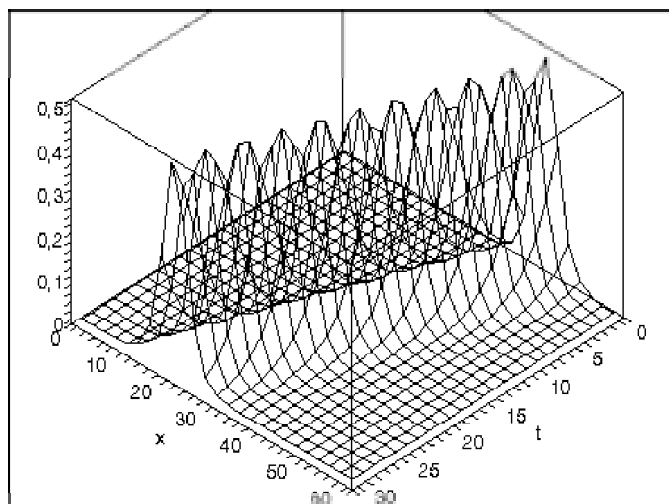


Figura 7. Solitón de amplitud 0,5

Explicar el funcionamiento de la gráfica y hacer otras representaciones con MAPLE o DERIVE para ver el efecto del parámetro A y de los signos de la velocidad y de  $x_0$ . Hacer otras representaciones para otros valores de A.

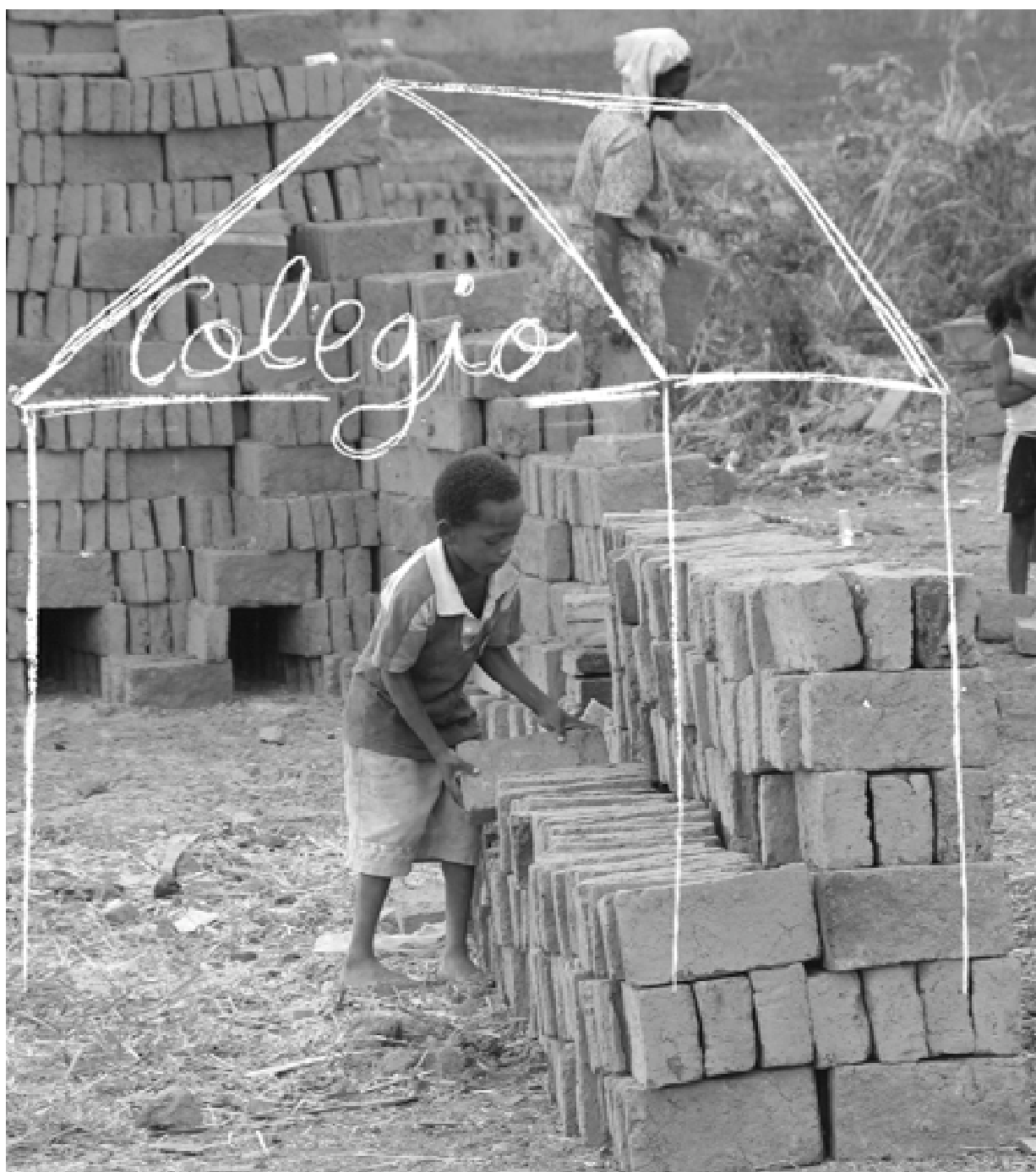
Tareas para desarrollar en el curso: Buscar en la red la palabra tsunami y proponer y

resolver otras tareas relacionadas. La información recabada puede ser una actividad motivadora para profesores para los alumnos. Estudiar el tiempo que se tardaría en desalojar La Coruña con la intención de que sus habitantes llegaran a los cerros más cercanos. ■

**PARA SABER MÁS**

V.S. MANORANJAN, ORTEGA, T. y SANZ-SERNA, J.M., *Solitón and antisoliton interactions in the "good" Boussinesq equation*. *Journal of Mathematical Physics*. Vol. 29 (9), p. 1964-1968. New York, 1988.

ORTEGA, T., *Conexiones matemáticas. Motivación del alumnado y competencia matemática*. GRAÓ, P. 213. ISSN: 84-7827-415-4. BARCELONA, 2005.



**TIENE DERECHO A IR AL COLEGIO.**

En **Entreculturas** trabajamos por el derecho a la educación de todas las personas, para que los más desfavorecidos tengan una educación de calidad. **Colabora con nosotros**, porque la educación es la herramienta más poderosa para acabar con la pobreza.

Entreculturas.

**EDUCAR ES DAR OPORTUNIDADES**

Colabora. Santander Central Hispano 6049 0001 54 2210040401. BBVA 0162 5906 86 6010000001.



ONG Jesuita

902 444 844

[www.entreculturas.org](http://www.entreculturas.org)